

METHOD FOR MANUFACTURING OPTICAL WAVEGUIDE

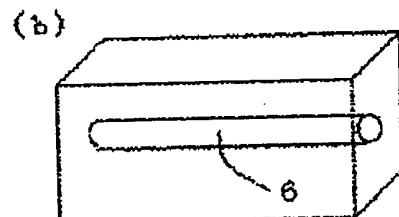
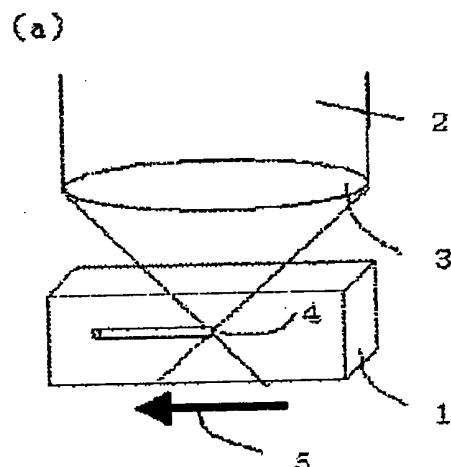
Patent number: JP2001350049
Publication date: 2001-12-21
Inventor: YAMAGUCHI ATSUSHI
Applicant: NIPPON SHEET GLASS CO LTD
Classification:
 - international: G02B6/13
 - european:
Application number: JP20000172831 20000609
Priority number(s):

Also published as:
 JP2001350049 (

Abstract of JP2001350049

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for forming a core diameter enlarged part at the end of a waveguide, which is formed three-dimensionally in the inside of glass by condensing laser beams, having a high peak output in the inside of glass.

SOLUTION: In a method for manufacturing the optical waveguide, where the laser beams having an energy quantity changing an optically induced refractive index are condensed in the inside of a glass material and the light-condensing point is relatively moved along a prescribed path in the inside of the glass material to form a core in the inside of the glass material, the core diameter enlarged part is formed at the end of the optical waveguide by changing the intensity of the laser beams, so that it becomes gradually high in the vicinity of the end of the waveguide.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-350049

(P2001-350049A)

(43)公開日 平成13年12月21日 (2001.12.21)

(51)Int.Cl.
G 02 B 6/13

識別記号

P I
G 02 B 6/12コード(参考)
M 2 H 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全5頁)

(21)出願番号

特願2000-172831(P2000-172831)

(22)出願日

平成12年6月9日 (2000.6.9)

(71)出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(72)発明者 山口 淳

大阪市中央区道修町3丁目5番11号 日本

板硝子株式会社内

(74)代理人 100069084

弁理士 大野 精市

F ターム(参考) 2H047 KAD4 KA13 KA15 PA00 QA04

TA32

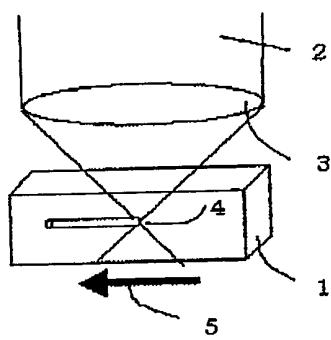
(54)【発明の名称】 光導波路の製造方法

(57)【要約】 (修正有)

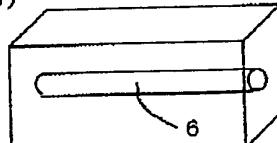
【課題】 ピーク出力が高いレーザー光をガラス内部に集光することによってガラスの内部に3次元的に形成された導波路の端部にコア径拡大部分を形成させる方法を提供する。

【解決手段】 光誘起屈折率変化を起こすエネルギー景をもつレーザー光をガラス材料の内部に集光し、その集光点をガラス材料の内部の所定経路に沿って相対移動させてガラス材料の内部にコアを形成する光導波路の製造方法において、前記レーザー光の強度を導波路端部付近で徐々に高くなるように変化させ、それにより前記光導波路の端部にコア径拡大部分を形成させることを特徴とする光導波路の製造方法である。

(a)



(b)



(2)

特開2001-350049

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光誘起屈折率変化を起こすエネルギー景をもつレーザー光をガラス材料の内部に集光し、その集光点をガラス材料の内部の所定経路に沿って相対移動させてガラス材料の内部にコアを形成する光導波路の製造方法において、前記レーザー光の強度を導波路端部付近で徐々に高くなるように変化させ、それにより前記光導波路の端部にコアを拡大部分を形成させることを特徴とする光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、導波路の製造方法、特にレーザー照射によってガラス材料の内部に屈折率変化領域を連続して形成する光導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 ガラスをベースとした光導波路は、イオン交換法、火炎加水分解法等で形成されている。

【0003】 イオン交換法では、ガラス基板表面に設けた金属膜等のスリット状開口部から $A g^+$ 、 $T 1^+$ 、 K^+ または $L i^+$ イオンを含む浴融塩をガラス基板表面層に接触させて上記 $A g^+$ 等のイオンをガラス基板中の $N a^+$ イオンと交換させて、ガラス基板表面層に上記 $A g^+$ 等のイオンの濃度が高い屈折率変化領域を形成し光導波路とすることが、たとえばJ.Lightwave Tech. Vol.16 (4) 583 (1998)に記載されている。この光導波路の屈折率変化領域をガラス中に埋没させてコアとするためには、上記の屈折率変化領域を形成したガラス基板を加熱して、ガラス基板表面層の $A g^+$ 、 $T 1^+$ 、 K^+ または $L i^+$ イオンをガラス内部に向かって拡散移動させるか、または再度 $N a^+$ イオンを含む浴融塩中に浸漬してガラス表面側に近い $A g^+$ 、 $T 1^+$ 、 K^+ または $L i^+$ イオンと $N a^+$ イオンを再交換する。この再イオン交換の際に電界を印加する方法もある。 $N a^+$ イオンは、 $A g^+$ 、 $T 1^+$ 、 K^+ または $L i^+$ イオンが形成した最表面の高屈折率領域を表面下に移動せしめる。その結果、コアがガラス表面下に埋め込まれ、低伝播損失が確保される。この方法で作製した光導波路のコアは、径10~200μmの半円形またはほぼ円形の断面をもつものが多い。イオン交換法ではイオン交換によって屈折率分布を調整しているため、形成された光導波路構造がガラス表面に近い部分に限られるといった問題がある。

【0004】 火炎加水分解法では、四塩化シリコンと四塩化ゲルマニウムの火炎加水分解によりシリコン基板の表面に下クラッド用及びコア用の2層のガラス微粒子層を堆積させ、高温加熱により微粒子層を透明ガラス層に改質する。次いで、フォトリソグラフィ及び反応性エッチングにより回路パターンをもつコア部を形成することが、例えばJ.Lightwave Tech. Vol.17 (5) 771 (1999)に記載されている。この方法で作製された光導波路は、

膜厚が数μmと薄い。また、火炎加水分解法は光導波路の作製方法が複雑であり、使用可能な材料も石英を主成分としたガラス組成に限られる、また基板表面に堆積した微粒子をガラス層に改質する方法のため、凹形の断面を持つ光導波路の作製が困難であるという問題もある。

【0005】 さらにイオン交換法、火炎加水分解法では、同一基板上に種々の二次元的パターンを持つ光導波路を形成できるものの、三次元的に組み合わされた光導波路を形成することは困難である。

【0006】 ガラス中に三次元的に光導波路を形成させる方法としては、特開平9-311237号に開示されているように、ピーク出力値が高いレーザーをガラス内部に照射することによって光導波路を形成する方法がある。この方法では、10¹¹W/cm²以上のピークパワー強度を持つレーザー光をガラス内部に集光し、その集光点を相対的に移動させることによって、屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料内部に起こさせ、光導波路を形成する。この方法ではレーザーの集光点を三次元的に移動させることによって三次元的な導波路も容易に作製できる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 火炎加水分解法等で基板表面部分に作製された導波路は、外部よりその位置が確認できるため、他の光ファイバ、もしくは光導波路と結合させるための位置決めに際してさほど問題はない。しかし、上記公報に述べられたガラス内部に形成された導波路においては、その位置を外部より確認することが困難なため、他の光ファイバ、もしくは光導波路と結合させるための位置決めが難しく、結合損失が大きくなってしまう問題がある。

【0008】 結合損失を低減させる技術として、TEC (Thermally-diffused Expanded Core) ファイバが期待されている [川上彰二郎、白石和男、大橋正治著「光ファイバとファイバ型デバイス」培風館 1996]。TEC ファイバは光ファイバを部分的に加熱し、光ファイバ中のコア部のGeドーピングを拡散させることによって光が導波される領域を表すモードフィールド径を拡大したコア拡大ファイバである。TEC ファイバを結合部分に利用すると、シングルモードファイバの結合損失の主要因であるずれによる損失を低減できることが、理論的にも実験的にも確認されている。

【0009】 また、このようなTEC ファイバは、モードフィールド径の異なる光ファイバ、レーザーダイオード等との結合損失を低減させることも知られている。光ファイバ同士の接続部では、接続される各光ファイバのモードフィールド径が互いに相違するほどモードミスマッチ損が生じやすい。このような場合には端部のモードフィールド径が同じになるように加工されたTEC ファイバを用いることにより、結合損失を有効に低減できる。

(3)

特開2001-350049

3
【0010】このようなTECファイバの概念を導波路に適用したものとして、特開平7-128544、特開平6-214137がある。特開平7-128544では、基板表面に作製された導波路をTECファイバの作製方法と同様に加熱処理によってドーバントを拡散させ、コア径を拡大させている。特開平6-214137ではマスクパターンと加工によるホトプロセスや加熱処理による拡散によってコア径拡大部分を作製している。

【0011】しかしながら、ピーク出力値が高いレーザーをガラス内部に照射することによって光導波路を形成する方法によって作製した導波路は、コア部とクラッド部においてガラスの組成は同じであり、光ファイバもしくは特開平7-128544に記載された導波路のように熱処理によってコア径を拡大させることができない。
【0012】本発明は、ピーク出力が高いレーザー光をガラス内部に集光することによってガラスの内部に3次元的に形成された導波路の端部にコア径拡大部分を形成させる方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザー光をガラス材料の内部に集光し、その集光点をガラス材料の内部の所定経路に沿って相対移動させてガラス材料の内部にコアを形成する光導波路の製造方法において、前記レーザー光の強度を導波路端部付近で徐々に高くなるように変化させ、それにより前記光導波路の端部にコア径拡大部分を形成させることを特徴とする光導波路の製造方法である。

【0014】本発明の製造方法によれば、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量を持つレーザー光をガラス内部（形状は平板状、球状、塊状等のいずれでもよい）に集光して屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料内部に起こさせ、その集光点を相対的に移動させることにより導波路が作製され、その端部で導波路を作製するのに用いられるレーザー光の強度を徐々に高くなるように変化させてコア径拡大部分を形成することによりコア径拡大部分を有する光導波路が容易に製造できる。

【0015】レーザー光としては、ガラスの種類によても異なるが、光誘起屈折率変化を起こすためには、集光点において $10^3\text{W}/\text{cm}^2$ 以上のピークパワー強度を有することが望ましい。ピークパワー強度は、「1パルス当りの出力エネルギー(J)」/「パルス幅(秒)」の比で表されるピーク出力(W)を照射単位面積当たりで表した値である。ピークパワー強度が $10^3\text{W}/\text{cm}^2$ に満たないと光誘起屈折率変化が起こらず、光導波路が形成されない。ピークパワー強度が高いほど光誘起屈折率変化が促進され、光導波路が容易に形成される。しかし、非常に大きなエネルギー量、例えば $10^3\text{W}/\text{cm}^2$ 以上の連続発振レーザー光を実用的を得ることは困難である。そこで、パルス幅を狭くすることによりピーク出

4

力を高くしたパルスレーザーの使用が好ましい。

【0016】レーザー光は、レンズ等の集光装置により集光される。このとき、ガラス材料の内部に位置するよう集光点を調整する。この集光点をガラス材料の内部で相対移動させることにより、光導波路として働く、細長い屈折率変化領域（高屈折率のコア領域）がガラス材料の内部に形成される。具体的には、レーザー光の集光点に対しガラス材料を連続的に移動させ、あるいはガラス材料の内部でレーザー光の集光点を連続的に移動させることにより、集光点を相対移動させる。

【0017】コア径拡大部分はレーザー光の強度を徐々に高くなるように変化させることで作製する。レーザー光の強度を変化させると、形成する導波路の径がその強度に応じて変化する。そのため、導波路端部においてレーザー光強度を徐々に高くなるように変化させることにより徐々に広がった形状のコア径拡大部分を形成できる。その形状は、レーザー強度の変化速度を調整することによって任意に選ぶことができる。

【0018】上記に述べたように、レーザー光のピークパワーを大きくするためにはパルスレーザーの使用が望ましい。レーザーの発振周波数が低いほどピークパワーを大きくすることが容易になるが、あまり遅いと滑らかな導波路構造とならないため、レーザーパルスの繰り返し周波数は 10kHz 以上、望ましくは 100kHz 以上とする。

【0019】レーザー光強度の変化は、レーザーの出力自体を変化させてもよいが、その場合はレーザーの発振が不安定となるため、レーザー発振装置の外部で行うことが望ましい。発振装置外部でのレーザー光強度の変化は、レーザー光の経路の途中に強度を変化させるための装置を設置することによって達成できる。レーザー光を連続的に変化させることのための装置としては、場所的に濃度が徐々に変化するNDフィルターをレーザー光経路の途中に入れ、その位置を調整することによってレーザー強度を変化させる方法等が考えられる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下に実施例をあげて本発明をより具体的に説明するが、本発明はその主旨を超えない限り、以下の実施例に限定されるものではない。

【0021】【実施例1】表1に示す組成を有し、 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 5\text{mm}$ の直方体形状のガラス試料に、図1に示すようにパルスレーザー光2をレンズ3で集光して照射した。パルスレーザー光2としては、アルゴンレーザー励起のTi:Al₂O₃レーザーから発振されたパルス幅150フェムト秒、繰り返し周波数200kHz、波長800nm、平均出力600mWのレーザー光を使用した。第1のNDフィルターを透過させて強度 400mW に調整したレーザー光を、NAが0.3で倍率が10倍の対物レンズで集光し、試料1の内部に集光点を生じるように照射し、試料1をその一端から他方端に向けて矢印5の方向に $50\mu\text{m}/\text{s}$ の速

特開2001-350049

(4)

5

度で移動させながらコアの長さが約20mmである光導波路を作製した。

【0022】

【表1】

	実施例1	実施例2 (モル%)
SiO ₂	70.6	37.5
B ₂ O ₃	0	12.5
Al ₂ O ₃	14.0	25.0
P ₂ O ₅	0.7	0
Na ₂ O	1.6	25.0
Li ₂ O	9.3	0
MgO	1.0	0
TiO ₂	1.6	0
ZrO ₂	1.2	0

【0023】上記方法で作製した光導波路の端部にコア径拡大部分を作製した。レーザー光の強度の変化は、前記第1のNDフィルターに隣接させて設けた第2のNDフィルターを調整することで行った。このNDフィルターとしては回転式円盤状のものを用い、光の透過率がなだらかに変化し、最高透過率が最低透過率の1.5倍になるように、そしてその変化が1回転に1回繰り返されるように、100秒/回転(0.01回転/秒)の速度で回転するよう設定した。コア長さ方向の中央部分の通常の導波路部分を作製するためにレーザー光の集光点が相対的に移動して光導波路のほぼ中央にある間はレーザー光が透過する位置を第2 NDフィルターの最低透過率位置にしておき、レーザー光の集光点が導波路端部から250μm手前に移動した時点で第2 NDフィルターを約50秒、回転させて導波路最端部(山端または入射端)でレーザー光の強度が最大になるように変化させてコア径拡大部分を作製した。

【0024】作製したコア径拡大部分を有する光導波路の出射端でのモードフィールド径を測定したところ、21μmであった。同じガラスでコア径拡大部分を作製しない場合の出射端でのモードフィールド径は9μmであった。

【0025】作製したコア径拡大部分を有する光導波路は以下の方法で評価した。1.55μmに中心発振波長を有するDFBレーザーの光を1.55μm用TEC型シングルモード光ファイバによって、上記作製した光導波路のコア径拡大入射端面まで導き、光導波路他端からの出射光強度が最大になるようにアライメントする。この出射光を1.55μm用シングルモード光ファイバで光スペクトルアナライザに導いて透過強度を測定する。この値を初期値として、TECファイバの位置をずらしながら、結合損失がどのように変化するかを測定した。コア径拡大部分

分を形成させなかった光導波路と通常の1.55μm用シングルモード光ファイバの軸ずれと結合損失の関係を同様の方法で測定し、その差を見ることでコア径拡大の効果を評価した。図2に測定した位置ずれと結合損失の関係を示す。この図においては結合損失が一番小さい位置での損失を0として、軸ずれによって余分に生じた損失を過剰損失として表してある。この図より、1dB劣化時で軸ずれ量について、コア径拡大部分を有する光導波路(「コア拡大接続」と表示)の方が、コア径拡大部分を有しない光導波路(「SMF接続」と表示)に比して、2.4倍と広いことがわかる。

【0026】【実施例2】実施例1で用いたガラス試料の組成に代えて表1の組成を用い、そして実施例1における、レーザー光の集光点の相対移動速度(50μm/秒)および第2 NDフィルターの回転速度(100秒/回転)を、それぞれ100μm/秒および4.9秒/回転に変更した他は、実施例1と同様にして、コア径拡大部分を有する光導波路を作製した。

【0027】作製したコア径拡大部分を有する光導波路の出射端でのモードフィールド径を測定したところ、20μmであった。同じガラスでコア径拡大部分を作製しない場合の出射端でのモードフィールド径は10μmであった。

【0028】実施例1と同様に結合損失を測定し、図3に測定した位置ずれと結合損失の関係を示す。この図より、1dB劣化時で軸ずれ量がコア径拡大部分を有する光導波路の方が、コア径拡大部分を有しない光導波路に比して、1.9倍と広いことがわかる。

【0029】【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量を持つレーザー光をガラス中に集光させ、集光点を相対的に移動させることによって作製する光導波路において、レーザー光の強度を変化させることによって導波路端部にコア径拡大部分を作製することができる。

【図面の簡単な説明】
【図1】本発明の光導波路を作製する方法を示す概略配置図(a)、及びガラス内部に作製した光導波路を示す斜視図(b)である。

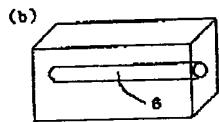
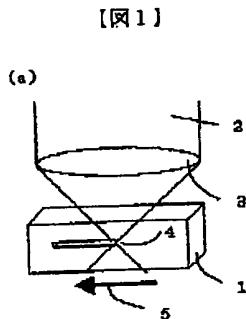
【図2】実施例1によって作製したコア径拡大部分を有する導波路の軸ずれと結合損失の関係を表したグラフである。

【図3】実施例2によって作製したコア径拡大部分を有する導波路の軸ずれと結合損失の関係を表したグラフである。

【符号の説明】

- 1 ガラス試料
- 2 パルスレーザー光
- 3 集光レンズ
- 4 集光点

5 ガラスの移動方向



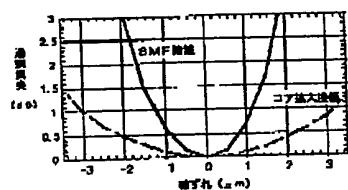
(5)

特開2001-350049

8

* * 6 光導波路

【図2】



【図3】

